



## Peningkatan Effisiensi Kincir Angin Poros Vertikal Melalui Sistem Buka-tutup Sirip pada 3 Sudu

Tjukup Marnoto

Jurusan Teknik Kimia, Fak. Teknologi Industri  
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta  
Jln. SWK 104 lingkaran urata, condongcatur, Yogyakarta 55283.  
[tjukup@gmail.com](mailto:tjukup@gmail.com)

Diterima 20 September 2010; diterima terkoreksi 14 Desember 2010; disetujui 14 Januari 2011

### Abstract

*The design of drag type vertical axis wind turbine (VAWT) is focused on efficiency improvement by lowering blade resisting drag force during headwind. The wind turbine consists of three blades with flapping fins mechanism. The fins will move to "open" position during headwind and will move to "close" position during tailwind. Wind tunnel testing was done to the turbine with several variations of fins number, turbine's radius and blade's area. The results showed that the start-up speed was 3.1 m/s. At the wind speed between 3.1 m/s and 7.8m/s, the turbine's kinetic energy and power coefficient were 0.008-2.93 W and 2.17-23.54% respectively. The turbine is more efficient, simple manufacturing and cheaper compared to other of its kind. The technology is transferrable to middle and low income societies that have not enjoyed electricity, thus application of the turbine in the societies can help the government program in supplying electricity and improving welfare of the people.*

**Keywords:** wind turbine, VAWT, renewable energy

Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan sedang digalakkan melalui kebijakan-kebijakan pemerintah untuk mendorong dan memfasilitasi pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan (hydro, matahari, panas bumi, biomassa dan juga angin). Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Lain halnya energi air, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat diterapkan di laut. Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia masih langka, hal tersebut dimungkinkan teknologi atau pengetahuan yang belum populer, arah angin di daerah Indonesia mudah berubah-ubah, kecepatan angin berfluktuasi dan kurang ekonomis. Selama ini angin dipandang sebagai proses alami yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat. Namun

daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternatif lainnya [1]

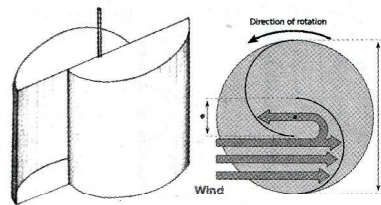
Kincir angin merupakan alat pengubah sumber energi alternatif (angin) yang ramah lingkungan, berprinsip mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik (rotasi) selanjutnya digunakan sebagai penggerak generator listrik. Kincir angin dapat digolongkan ke dalam dua kategori menurut arah sumbu rotasinya yaitu: *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Kincir angin poros vertikal (VAWT) mempunyai sumbu vertikal dengan sudu paralel dengan sumbunya. Kincir angin ini memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan dengan kincir angin poros horizontal (HAWT). Tetapi ada beberapa kelebihan yang dimiliki oleh kincir poros vertikal, antara lain: aman, mudah



membangunnya, bisa dipasang tidak jauh dari tanah, lebih baik dalam menangani turbulensi angin. Generator dan gearbox bisa ditempatkan tidak jauh dari permukaan tanah, sehingga memudahkan dalam perawatan. Keuntungan utama dari jenis kincir ini tidak diperlukan yaw, yaitu sistem yang mengatur posisi bilah/sudu agar tetap menghadap angin dan dapat menangkap energi angin dari berbagai arah dengan demikian dalam pembuatannya akan lebih sederhana [2, 3]. Kendala-kendala dalam aplikasi turbin angin adalah kondisi geografis pada suatu wilayah dimana kecepatan angin dan arah angin berubah sepanjang waktu. Kincir angin yang sesuai dengan kondisi tersebut adalah kincir *omni-directional* yaitu kincir yang dapat menerima angin dari segala arah dan mampu mengimbangi angin dalam kecepatan yang rendah. Kincir (VAWT) adalah jenis yang sesuai untuk permasalahan diatas, karena kincir dapat berputar dari berbagai sudut datangnya arah angin. Sudu kincir VAWT berputar secara horisontal pada sumbu vertikal terhadap tanah, sehingga setiap sudu kincir mengalami proses *headwind* dan *tailwind*. *Headwind* terjadi ketika arah sudu berlawanan dengan arah angin yang masuk, sedangkan *tailwind* terjadi ketika arah sudu sama dengan arah angin yang masuk. Rotasi pada poros kincir digerakkan oleh *tailwind*, sementara *headwind* cenderung untuk memperlambat rotasi sehingga menyebabkan koefisien kincir rendah, maksimum sekitar 16% berdasarkan gaya tarik aerodinamisnya [2]. Masalah ini dapat dipecahkan dengan merancang sudu kincir khusus yang dapat memperkecil gaya hambatan angin (*headwind*) yaitu sudu bersirip dengan mekanisme buka tutup. Sirip-sirip akan terbuka pada posisi sudu berlawanan arah angin, sebaliknya sirip-sirip akan menutup jika searah dengan arah angin, karena dorongan angin itu sendiri. Dengan kincir baru ini diharapkan dapat mengurangi *headwind*, sehingga bisa meningkatkan efisiensi.

#### Tipe kincir angin

Kincir angin dikenal ada dua kategori yaitu turbin angin dengan poros horisontal (HAWT) dan turbin angin poros vertikal (VAWT). Ada berbagai type VAWT yang

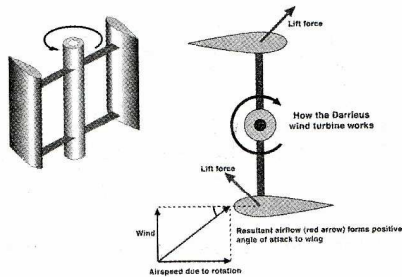


Gambar 1. Prinsip kerja type Savonius VAWT

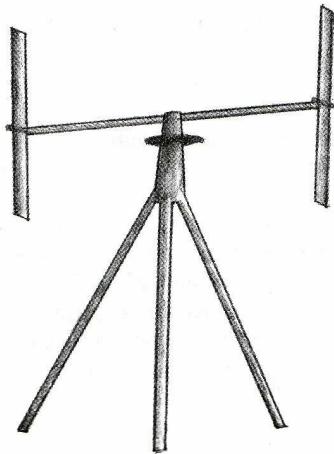
sering digunakan diantaranya adalah 1). Tipe Savonius 2). Tipe Darrieus 3). Tipe H-Rotor [4, 5].

- a. Tipe Savonius VAWT seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1, diciptakan oleh seorang insinyur Finlandia SJ Savonius pada tahun 1929, dan diaplikasikan pada tahun 1931. Kincir VAWT ini merupakan jenis yang paling sederhana dan menjadi versi besar dari anemometer. Kincir Savonius dapat berputar karena adanya gaya dorong dari angin, sehingga putaran rotorpun tidak akan melebihi kecepatan angin. Koefisien daya untuk jenis Savonius biasanya tidak lebih dari 25%. Jenis kincir ini cocok untuk aplikasi daya yang rendah [4].
- b. Tipe Darrieus VAWT ditemukan oleh seorang insinyur Perancis George Jean Marie Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Ia memiliki 2 bentuk turbin yang digunakan diantaranya adalah "*Eggbeater/ Curved Bladed*" dan "*Straight-bladed*" VAWT. Sketsa dari kedua variasi konsep Darrieus ditunjukkan dalam Gambar 2. Kincir angin Darrieus VAWT mempunyai sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. Berbeda dengan Savonius, kincir angin Darrieus bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup. Bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu.





Gambar 2. Prinsip kerja type Darrieus VAWT



Gambar 3. H-Rotor – VAWT

- c. Tipe H-rotor ditunjukkan pada Gambar 3, dikembangkan di Inggris melalui penelitian yang dilakukan selama 1970-1980an, diuraikan bahwa mekanisme yang digunakan pada pisau berbilah lurus (*Straight-bladed*) Darrieus VAWT tidak diperlukan, ternyata ditemukan bahwa efek hambatan yang diciptakan oleh sebuah pisau akan membatasi kecepatan aliran angin. Oleh karena itu, H-rotor akan mengatur semua kecepatan angin untuk mencapai kecepatan putaran optimalnya.

### Teori

Tenaga mekanik ialah tenaga yang terkait dengan gerak sesuatu benda, yaitu tenaga yang dimiliki oleh suatu jasad/benda yang disebabkan oleh pergerakannya disebut tenaga

kinetik. Tenaga ini sesuai dengan kerja yang diperlukan untuk menghentikan jasad yang sedang bergerak. Jasad bermassa  $m$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  mempunyai tenaga:

$$E_k = \frac{1}{2} m.v^2 \quad (1)$$

Angin adalah fluida yang bergerak sehingga mempunyai energi kinetik sebagai energi potensial. Energi potensial angin yang bergerak dengan kecepatan  $V$ , dan dinyatakan sebagai desitas energi adalah [6, 7] sebagai berikut:

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (2)$$

Dimana  $P$  = energi angin;  $A$  = luas normal kecepatan angin;  $\rho$  = densitas udara (sekitar  $0.07654 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$  atau  $1.23 \text{ kg/m}^3$ ),  $V$  = kecepatan angin.

$P/A$  disebut power density dengan satuan Watt/luas normal, dan dapat ditulis:

$$\frac{P}{A} = KV^3 \quad (3)$$

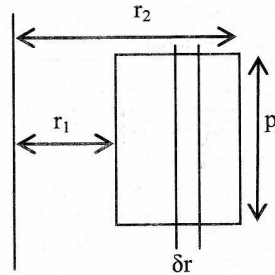
Nilai  $K$  tergantung dari satuan kecepatan angin, Tabel 1 menunjukkan nilai  $K$  dari berbagai variasi satuan kecepatan angin [7].

Fraksi kecepatan angin yang diekstrak suatu benda adalah 0,5926, atau lazim disebut Betz koefisien atau limit Glauert's, dan tergantung koefisien aerodinamika, sering disebut power koefisien ( $C_p$ ). Sehingga energi rotor atau kincir dapat ditulis sebagai persamaan 4.

Tabel 1. Nilai  $K$ , dengan  $P/A$  (Watt/ft<sup>2</sup>) [7]

Satuan kecepatan angin	$K$
ft/sec	$1.61 \times 10^{-3}$
Mile/jam	$5.08 \times 10^{-3}$
Km/jam	$1.22 \times 10^{-3}$
m/det	$5.69 \times 10^{-2}$
Knot	$7.74 \times 10^{-3}$

Konversi  $\text{Watt/ft}^2 = 10.76 \text{ Watt/m}^2$



Gambar 4. Skema posisi sudu terhadap rotor

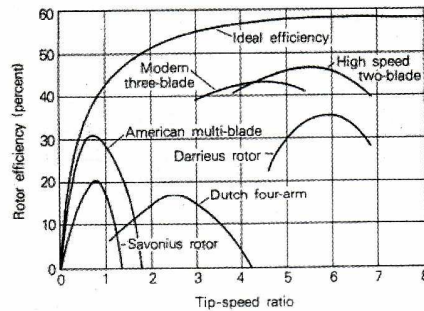
$$\frac{P_R}{A} = C_p \cdot K \cdot V^3 \quad (4)$$

Power rotor pada benda persegi panjang yang berotasi terhadap rotor (Gambar 4), dapat dihitung mengikuti persamaan 5. [8]

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m}{(r_2 - r_1) \cdot p} \\ P_R &= \frac{1}{2} \cdot n \cdot (\omega)^2 \cdot \int_{r_1}^{r_2} p \cdot \rho \cdot r^2 dr \\ &= \frac{1}{2} \omega^2 \cdot n \cdot \frac{p \cdot \rho}{3} [r^3]_{r_1}^{r_2} \end{aligned} \quad (5)$$

$P_R$  = energi rotor,  $n$  = jumlah sudu,  $m$  = masa sudu,  $r_1$  = jari-jari,  $(r_2 - r_1)$  = lebar sudu,  $p$  = panjang sudu,  $\omega$  = kecepatan sudut (rad/det). Power rotor terdiri dari dua faktor yang berbeda yaitu merupakan sifat benda yang berotasi, tergantung dari massa benda ( $m$ ) dan jumlah benda (bilah) yang tersebar pada sekitar sumbu rotor ( $n$ ) dan jari-jari ( $r$ ), yang disebut sebagai moment Inersia ( $I$ ) atau momen kedua. Sedangkan  $(1/2 \cdot \omega^2)$  dapat berubah-ubah sesuai dengan kecepatan rotasi.

Power koefisien energi angin menjadi energi kinetik dapat didefinisikan sebagai energi rotor atau kincir dibagi dengan energi angin yang diterima oleh kincir, dan disebut juga efisiensi rotor yang dinyatakan dalam persen, dan dapat ditulis seperti persamaan 6:

Gambar 5. Efisiensi rotor ( $C_p$ ) berbagai type kincir Vs TSR (Sumber:[9])

$$C_p = \frac{E_R}{E_A} = \frac{P_R}{P_A} \times 100\% \quad (6)$$

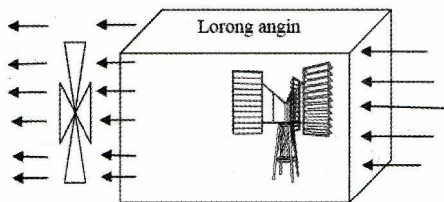
Nilai  $C_p$  dipengaruhi perbandingan kecepatan angin keluar dan masuk kincir ( $V_o/V$ ). Semakin kecil  $C_p$  semakin banyak angin yang terekstrak oleh kincir begitu juga sebaliknya semakin besar  $C_p$  maka semakin kecil angin yang terekstrak oleh kincir.  $C_p$  atau efisiensi rotor dari berbagai type kincir di ditunjukkan juga sebagai fungsi dari *tip speed ratio* (Gambar 5). *Tip Speed Ratio* (TSR) adalah rasio yang menunjukkan kinerja dari rotor yaitu perbandingan kecepatan putar sudu dengan kecepatan angin, dan dapat dirumuskan sebagai:

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{V} \quad (7)$$

Dimana:  $\lambda$  = tip speed ratio,  $r$  = jari-jari girasi pada kincir;  $\omega$  = rotasi rotor (rad/det), sedangkan  $V$  = kecepatan aliran angin [9,10].

## METODE

Model kincir dibuat dengan skala laboratorium. Pengujian kincir di lakukan di dalam lorong angin buatan (luas 120x120 cm<sup>2</sup>) untuk mempermudah variasi kecepatan angin. Data-data yang diambil adalah rotasi rotor (rpm) dan kecepatan angin. Gambar 6 menunjukkan skema rangkaian alat penelitian.



Gambar 6. Skema alat penelitian

Kincir angin VAWT model ini, terdiri dari rotor yang dibuat dari besi as baja, 3 buah sudu bersirip terdiri dari bingkai aluminium dan sirip dari polycarbonat. Kincir angin poros vertikal dengan sudu bersirip baru dipublikasi sebagai prarancangan [11] belum dibuat dan diteliti, atau dapat dikatakan model kincir angin ini adalah baru. Sirip-sirip ini dibuat sedemikian rupa sehingga apabila sudu berada di posisi berlawanan arah angin dan putaran rotor, sirip akan terbuka oleh dorongan angin, sebaliknya bila sudu berada pada posisi searah dengan angin dan putaran rotor, sirip-sirip akan menutup dan menerima daya dorong angin untuk memutar rotor (lihat Gambar 7 dan 8). Dengan mekanisme sirip yang bisa buka-tutup diharapkan pengaruh luas sudu terhadap daya penghambat (drag force) relatif kecil.

Hasil dan Pembahasan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

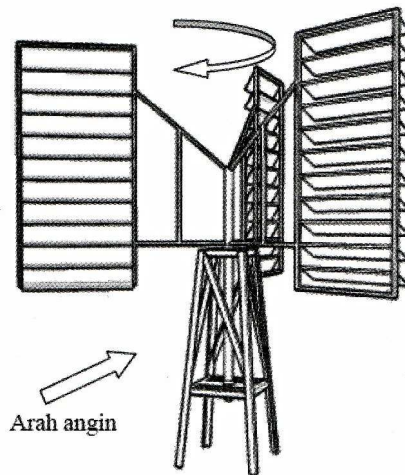
Data penelitian yang diambil adalah kecepatan angin (m/detik) dan rotasi dari rotor (rpm), pada berbagai variasi berat dan luas sudu atau dimensi sudu dan perbandingan luas sudu dan sirip, serta jari-jari. Tabel 2 adalah dimensi variasi kincir yang digunakan.

Data hasil perhitungan dengan persamaan 4, 5 dan 6 didapat power rotor/luas sudu, power angin dan juga koefisien power pada masing-masing kincir. Gambar 9 menunjukkan salah satu data kincir (kincir no 2) pada berbagai kecepatan angin.

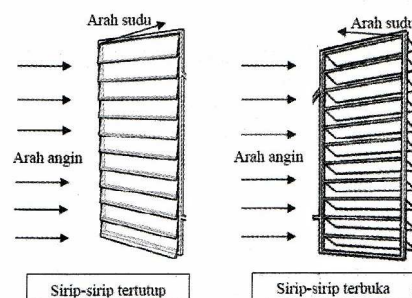
Energi angin yang diterima oleh kincir tergantung dari luas kolektor angin atau sudu dari kincir, power rotor atau energi kincir dipengaruhi oleh dimensi kincir (massa sudu dan jarak dari rotor). Rasio tenaga pendorong dan penghambat mempengaruhi kecepatan rotasi rotor, sehingga pada model kincir ini,

Tabel 2. Dimensi kincir yang digunakan

No. Kincir	Berat sudu (kg)	Dimensi sudu (m)			Jmlh. Sirip /sudu
		p	R <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	
1	0.311	0.300	0.30	0.1	10
2	0.284	0.215	0.30	0.1	7
3	0.264	0.155	0.30	0.1	5
4	0.302	0.300	0.25	0.1	10
5	0.276	0.215	0.25	0.1	7
6	0.259	0.155	0.25	0.1	5
7	0.290	0.300	0.20	0.1	10
8	0.268	0.215	0.20	0.1	7
9	0.253	0.155	0.20	0.1	5

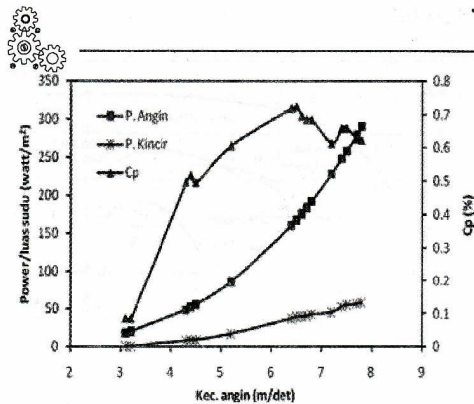


Gambar 7. Model kincir angin poros vertikal 3 sudu bersirip

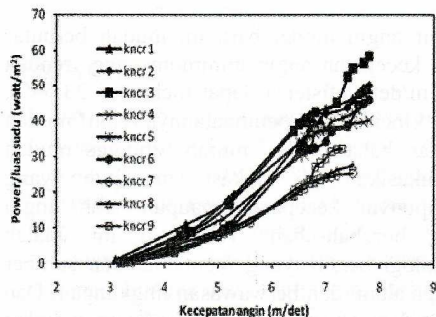


Gambar 8. Mekanisme buka-tutup sirip sudu





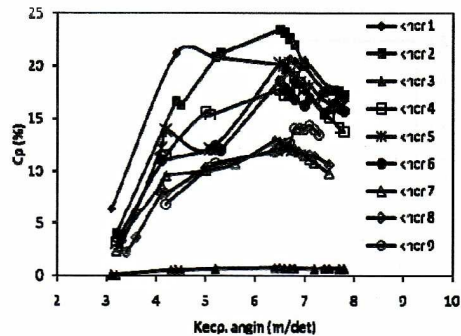
Gambar 9. Kecepatan angin Vs. Power dan efisiensi (kincir 1)



Gambar 10. Power kincir/luas sudu Vs Kecepatan angin.

rasio sirip/sudu akan mempengaruhi rotasi selain luas dan berat sudu serta jarak dari rotor (jari-jari). Kincir dengan berat sudu antara 0,2641 hingga 0,3113 kg dengan jari-jari antara 0,2 hingga 0,3 m dan jumlah sudu 3 buah, kecepatan angin terendah untuk memutar kincir adalah 3,1 m/det. semakin besar luas sudu, power yang dihasilkan semakin besar, rasio jumlah sirip/sudu berpengaruh pada tenaga kinetik yang dihasilkan atau ekstrak tenaga angin ke tenaga kinetik hal ini ditunjukkan pada Gambar 10, yaitu energi kinetik kincir yang dinyatakan dengan power kincir setiap satuan luas sudu. Ditinjau dari power per satuan luas sudu, model kincir 3 dengan rasio  $R1/R2=3$  dan rasio luas sudu/sirip = 5 adalah lebih baik.

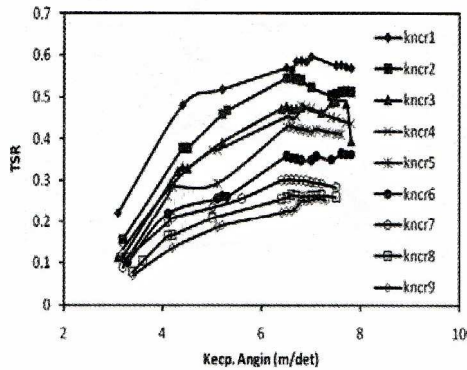
Gambar 9 dan 11. menunjukkan bahwa tenaga yang diekstrak tidak berbanding lurus dengan tenaga angin yang dihasilkan, sehingga power koefisien atau efisiensi kincir tergantung



Gambar 11. Efisiensi kincir Vs Kecepatan angin

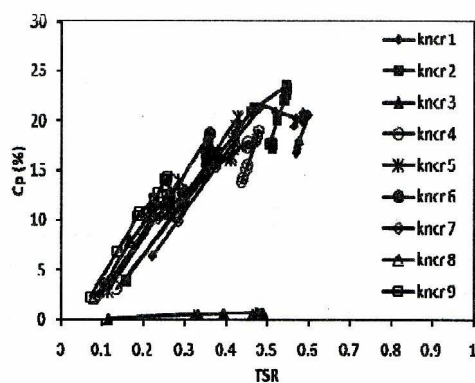
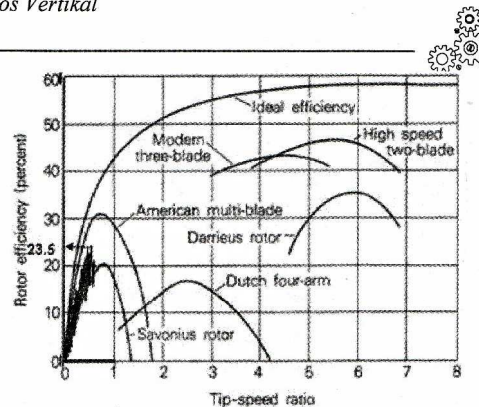
dari kecepatan angin. Gambar 11, menunjukkan bahwa efisiensi pada kecepatan angin minimum adalah rendah, dan meningkat dimulai kecepatan angin 4 m/det. namun ada penurunan pada kecepatan angin tertentu atau efisiensi tidak berbanding lurus dengan power yang dihasilkan, hal ini menunjukkan bahwa pada dimensi kincir tertentu ada kecepatan angin optimum. Dari model-model kincir yang digunakan, semakin besar kecepatan angin semakin besar pula energi kincir yang dihasilkan. Namun demikian pada kecepatan angin tertentu antara 6,5 m/det. rata-rata efisiensi terjadi penurunan. Efisiensi terbesar didapat pada kincir no 2, rasio sudu/sirip = 7, yaitu dapat mencapai 23,53 % pada kecepatan angin 6,5 m/det. dan tenaga kincir 1,7017 watt, sedangkan tenaga/power kincir terbesar pada model kincir no 1, pada kecepatan angin 7,8 m/det. Power kincir sebesar 2,9286 watt namun power koefisien atau efisiensi kincir hanya 16,79 %.

Perbandingan antara kecepatan putar sudu dengan kecepatan angin (TSR) dari kincir yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 12. TSR yang terbesar terjadi pada kecepatan angin 7 m/det, yaitu 0.596 (kincir 1). Untuk kecepatan angin lebih dari 7 m/det, rata-rata TSR sedikit menurun. Kincir angin model ini, kemungkinan kecepatan putaran sudu sama dengan kecepatan angin adalah kecil karena arah putar sudu searah dengan angin sehingga tidak mungkin melebihi kecepatan angin, kecuali pada perlambatan karena kecepatan angin menurun.



Gambar 12. TSR Vs Kecepatan angin

Perbandingan type-type kincir sebelumnya ditunjukkan dengan nilai efisiensi rotor atau power koefisien ( $C_p$ ) terhadap TSR [9,10], Grafik TSR melawan  $C_p$  pada model-model kincir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 13. Gambaran kincir ini jika dibandingkan dengan type kincir sebelumnya (gambar 14) yaitu terletak antara type *savonius rotor* dan *American multi-blade*. Efisiensi secara umum lebih mendekati kurva *ideal efficiency* atau dapat dikatakan bahwa rata-rata efisiensi lebih tinggi dibandingkan type *savonius rotor*.

Gambar 13. Efisiensi rotor ( $C_p$ ) Vs TSRGambar 14. Perbandingan (*Plotting*) efisiensi rotor penelitian ini dengan penelitian terdahulu

Kincir angin model baru ini mudah berputar pada kecepatan angin minimum yang rendah (3,1 m/det), efisiensi dapat mencapai 23,54%, pada kincir 2, dan pembuatannya relatif mudah dengan bahan yang murah sehingga mudah diaplikasikan di lokasi manapun yang mempunyai kecepatan maupun arah angin yang berubah-ubah. Teknologi ini adalah teknologi bersih, yang memanfaatkan sumber tenaga alami dan berwawasan lingkungan. Dan dapat dengan mudah ditransfer ke masyarakat menengah kebawah sehingga dapat membantu program pemerintah untuk pemerataan listrik dan membantu meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

## KESIMPULAN

1. Kincir angin poros vertikal model ini lebih efisien dibanding dengan type *savonius rotor*, dan dapat diterapkan di semua lokasi/daerah yang memiliki kecepatan dan arah angin yang berubah-ubah.
2. Kincir angin model ini rata-rata dapat berputar pada kecepatan angin terendah 3,1 m/det. Dan efisiensi atau power koefisien mencapai 23,54 %. (kincir no 2, TSR 0,545).
3. Teknologi ini mudah ditransfer dan dibuat dengan bahan yang murah, mudah didapat, serta dapat membantu program pemerintah untuk pemerataan listrik pada masyarakat yang belum menikmati jaringan listrik.
4. Teknologi ini adalah teknologi bersih yang berwawasan lingkungan dan



- memanfaatkan sumber tenaga alami yang gratis.
5. Manfaat dari rancangan ini adalah untuk pengembangan teknologi dan ilmu pengetahuan, membantu program pemerintah untuk pemerataan listrik dan dapat meningkatkan kesejahteraan masyarakat.
  6. Model kincir yang dibuat pada penelitian ini, paling efisien adalah kincir no 2, rasio sirip/sudu = 7, perbandingan  $R_1/R_2 = 3$  efisiensi ( $C_p$ ) mencapai 23,53 % pada kecepatan angin 6,5 m/det, TSR = 0,545.
  7. Power yang dihasilkan setiap satuan luas sudu yang paling bagus adalah model kincir no 3 rasio sirip/sudu = 5,  $R_1/R_2 = 3$ .
- [9] Patel, M.R, 1999, "*Wind and Solar Power Systems*", U.S. Merchant Marine Academy Kings Point, New York.
  - [10] Kreith, Frank & Goswami, Y.D., 2008, *Energy Management and Conservation Hand Book*, John Wiley & Sons, Inc., Colorado.
  - [11] Tjukup Marnoto, 2010, "Prarancangan kincir angin aksis vertikal untuk generator listrik tenaga angin", *Element Jurna Teknikl, Fakultas Teknik, UBB, Bangka Belitung*, Vol.1, No.1, 1-9.

#### PUSTAKA

- [1] Daryanto, Y., 2007, *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*, Balai PPTAGG-UPT-LAGG, Yogyakarta.
- [2] Gasch, R. & Tewe, J., 2002, *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*, James and James, London and Solarpraxis, Berlin
- [3] Ackermann, T., 2005, *Wind Power in Power Systems*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex.
- [4] Islam, M., Ting, D. S. K. & Fartaj, A., 2008, "Aerodynamic models for Darrieus-type straight-bladed vertical axis wind turbines", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 1087-1109.
- [5] Herbert, J.G.M., Iniyar, S., Sreevalsan E., & Rajapandian, S., 2007, "A review of wind energy technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 1117-1145.
- [6] Eriksson, S., Bernhoff, H. & Leijon, M., 2008, "Evaluation of different turbine concepts for wind power", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12: 1419-1434.
- [7] Turner, W.C. & Doty, S. 2006, *Energy Managemen Hand Book*, 6<sup>th</sup>. John Wiley & Sons, Inc., Canada.
- [8] Stroud, K.A, 1996, *Matematika untuk teknik*, ed.4, alih bahasa oleh Erwin Sucipto, Erlangga, Jakarta: 794-808.